



Research Article

Statistical simulation of extreme temperatures in Zanjan based on climate scenarios

Leila Ahadi*¹ , Hossein Asakereh¹, Yunes Khosravi²

1-Department of Geography, Faculty of Humanities, Zanjan University, Zanjan, Iran

2-Department of Environmental Sciences, Faculty of Science, Zanjan University, Zanjan, Iran

Received: 6 July 2022 Accepted: 14 February 2023

Extended Abstract

Introduction: Climate is one of the most fundamental factors in the structure of the planet Earth. Climate change can have many feedbacks and consequences. Due to the increase in climatic extremes and natural hazards in Iran, which is characterized by ecological sensitivity, these events have a significant impact on the state of water resources, agriculture, energy, tourism, and bio-climatic conditions; Therefore, studying this field is an inevitable necessity. The main goal of the current research is to investigate the simulation of average values and minimum, maximum and average daily temperatures of Zanjan based on climate scenarios and using the SDSM model.

Materials and methods: The method of carrying out descriptive-analytical research and the method of collecting data is library (documents). SDSM model and climate scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5) have been used to simulate temperature variables. The data used includes the average, minimum and maximum daily temperature recorded at the Hamdid Zanjan station during the period of 1961-2021 and the data of the general atmospheric circulation model to simulate climate variables in future periods. In order to obtain the most suitable atmospheric variables for estimating triple temperature profiles, the relationship between dependent variables (minimum, average and maximum daily temperature) with independent atmospheric variables (NCEP) was examined to select independent variables and recalibrate the model for dependent variables. Also, the Markov chain model has been used to investigate the probabilities of Frein events. In order to recalibrate the SDSM model, the observational data of Zanjan station and the data of NCEP National Center for Prediction of Environmental Variables were divided into two periods: 1961-1990 and 1991-2005. The first period was used to calibrate the model.

Results and discussion: The simulation results of the three studied temperature variables showed that in all scenarios, they will increase the most in the period of 2082-2100 compared to the values of these variables in the base period (1961-2021). The monthly review of the simulated data and the observed data of the studied variables showed that based on the studied scenarios and the SDSM model, it was determined that from 2022-2100 the minimum temperature will increase by 2 degrees, the maximum and average temperature by 3 degrees. The average minimum and average temperature will increase the most in January and February and the least in October. While the average maximum temperature will increase the most in August and the least in April.

Conclusion: Result shows that all seasons of the year will become warmer, especially the cold seasons of the year. In other words, the cold seasons will be shorter. The number of extreme frequencies observed in all three temperature parameters for the 25th and 75th quartiles is less than the number of simulated extreme temperature events in all three scenarios. The highest number of extreme low frequencies is expected in January and the highest number of extreme high frequencies is expected in July.

Keywords: Zanjan, Climate scenarios, Simulation, Extreme temperature, SDSM.

Citation: Leila Ahadi, Hossein Asakereh, Yunes Khosravi (2023). Statistical simulation of extreme temperatures in Zanjan, *Res. Earth. Sci.* 14(2), (1-16) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103377

* Corresponding author E-mail address: leila.ahadi70@gmail.com



شبیه‌سازی آماری فرین‌های دمای شهر زنجان براساس سناریوهای آب‌وهوایی

لیلا احدی*¹ ID، حسین عساکره^۱، یونس خسروی^۲

۱- گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵

چکیده گسترده

مقدمه: آب و هوا یکی از اساسی‌ترین عوامل در ساختار سیاره زمین است. تغییر اقلیم می‌تواند بازخوردها و پیامدهای زیادی داشته باشد. با توجه به افزایش افراط‌های اقلیمی و مخاطرات طبیعی در ایران که با حساسیت اکولوژیکی مشخص می‌شود، این رویدادها تأثیر بسزایی بر وضعیت منابع آبی، کشاورزی، انرژی، گردشگری و شرایط زیست‌اقلیمی دارد. بنابراین مطالعه این رشته یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی شبیه‌سازی مقادیر میانگین و حداقل، حداکثر و میانگین دمای روزانه زنجان براساس سناریوهای اقلیمی و با استفاده از مدل SDSM است.

مواد و روش‌ها: روش انجام پژوهش توصیفی-تحلیلی و روش گردآوری داده‌ها کتابخانه‌ای (اسنادی) است. مدل SDSM و سناریوهای آب و هوایی (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) برای شبیه‌سازی متغیرهای دما استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده شامل میانگین، حداقل و حداکثر دمای روزانه ثبت شده در ایستگاه حمید زنجان طی دوره زمانی ۱۹۶۱-۲۰۲۱ و داده‌های مدل گردش عمومی جو برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی می‌باشد. به منظور به دست آوردن مناسب‌ترین متغیرهای جوی برای تخمین پروفیل‌های دمایی سه گانه، رابطه بین متغیرهای وابسته (حداقل، متوسط و حداکثر دمای روزانه) با متغیرهای مستقل جوی (NCEP) برای انتخاب متغیرهای مستقل و کالیبراسیون مجدد مدل برای متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار گرفت. همچنین از مدل زنجیره مارکوف برای بررسی احتمالات رخداد‌های فرین استفاده شده است. به منظور کالیبراسیون مجدد مدل SDSM، داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه زنجان و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی NCEP به دو دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۹۱-۲۰۰۵ تقسیم شدند. دوره اول برای کالیبراسیون مدل استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج شبیه‌سازی سه متغیر دمایی مورد مطالعه نشان داد که در تمامی سناریوها در دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۸۲ بیشترین افزایش را نسبت به مقادیر این متغیرها در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۲۱) خواهند داشت. بررسی ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که براساس سناریوهای مورد مطالعه و مدل SDSM مشخص شد که از سال ۲۰۲۲ تا ۲۱۰۰ حداقل دما ۲ درجه، حداکثر و متوسط دما افزایش می‌یابد. ۳ درجه میانگین حداقل و میانگین دما در دی و بهمن بیشترین افزایش و در مهرماه کمترین افزایش را خواهد داشت. در حالی که میانگین حداکثر دما در مرداد ماه و کمترین آن در فروردین ماه افزایش خواهد یافت. **نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد که تمام فصول سال به ویژه فصول سرد سال گرمتر خواهند شد. به عبارت دیگر، فصول سرد کوتاه‌تر خواهد بود. تعداد فرکانس‌های شدید مشاهده شده در هر سه پارامتر دمایی برای چارک‌های ۲۵ و ۷۵ کمتر از تعداد رویدادهای دمای شدید شبیه‌سازی شده در هر سه سناریو است. بیشترین تعداد فرکانس‌های بسیار پایین در ماه ژانویه و بیشترین تعداد فرکانس‌های بسیار بالا در ماه جولای پیش‌بینی می‌شود.

واژگان کلیدی: زنجان، سناریوهای آب‌وهوایی، شبیه‌سازی، فرین دما، SDSM.

استناد: لیلا احدی، حسین عساکره، یونس خسروی (۱۴۰۲). شبیه‌سازی آماری فرین‌های دمای شهر زنجان، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴(۲).

DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103377، (۱-۱۶)

مقدمه

آب‌وهوا، یکی از بنیادی‌ترین عوامل در ساختار سیاره زمین است. بی‌گمان پهنه‌های زیستی (از جمله انسان) و غیرزیستی به شکل عمیق و در سطح گسترده‌ای متأثر از شرایط آب‌وهوایی است. تغییر (پذیری) آب‌وهوا می‌تواند بازخوردها و پیامدهای گوناگونی به دنبال داشته باشد. به باور بسیاری از پژوهشگران، تغییر آب‌وهوا و افزایش دمای کره زمین ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای^۱ (GHG) (نظیر بخار آب، دی‌اکسید کربن، متان، اکسید ازت و ...) است (عبدالعلی زاده و همکاران، ۱۴۰۱؛ پرهیزکاری و مظفری، ۱۳۹۵؛ واحدی و متاجی، ۱۳۹۲؛ Haites, 2018). انتشار مداوم گازهای گلخانه‌ای باعث گرم شدن بیشتر و تغییرات در همه اجزای دستگاه آب و هوا می‌شود (انصاری مهابادی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Rashid et al, 2015). هیئت بین‌الدول تغییر آب‌وهوا (IPCC)^۲ ۱/۵ درجه سلسیوس گرمایش جهانی را گزارش کرده است. براساس این گزارش اگر تا سال ۲۰۳۰ میزان انتشار CO₂ حاصل از فعالیت‌های انسانی کاهش پیدا نکند، می‌تواند زودتر از آنچه پیش‌بینی شده است، تغییرات ویرانگر و برگشت‌ناپذیر در آب و خشکی رخ دهد. طی ۳۰ سال گذشته فراوانی برخی از رویدادهای فرین افزایش یافته است (Kenward, 2014; Nik and Mozzami, 2021) و بیم آن می‌رود در آینده مخاطرات بیشتری در آب و هوا رخ دهد (Chen et al, 2018). بر پایه تعریف IPCC، رویداد فرین به رویدادی گفته می‌شود که احتمال وقوع آن در مکان و زمان رخداد بسیار نادر است (گزارش هیئت بین‌الدول تغییر آب‌وهوا، ۲۰۰۷). به سخن دیگر، رویدادهای آب و هوایی فرین، پدیده‌هایی هستند که با بسامد کم، به‌طور متوسط کم‌تر از ۵٪ (فاطمی و نارنگی فرد، ۱۳۹۸)، و شدت بالا خود را نشان می‌دهند و رخداد آنها شرایط معمول بوم‌سازگان طبیعی و انسانی را دستخوش تغییرات جدی قرار می‌دهند. در سال‌های اخیر، وقوع چندین باره رخدادهای فرین (نظیر امواج گرما و سرما، بارش سنگین، رگبار، تگرگ، بارش برف، توفان، سیل و خشکسالی) در سراسر جهان گزارش شده است که تغییرات آنها را به تغییرات جهانی آب و هوا نسبت داده‌اند (Yurong Hu et al, 2012). امروزه رخدادهای فرین آب‌وهوایی به دلیل اثرات آشکار بر زندگی بشر، زیست‌بوم‌های طبیعی و پیامدهای اقتصادی -

اجتماعی اهمیت زیادی پیدا کرده‌اند. هرگونه تغییر در فراوانی یا شدت رخداد فرین آب و هوایی می‌تواند پیامدهای عمیقی بر محیط طبیعی و جوامع انسانی داشته باشد. بنابراین تحلیل رخدادهای فرین از اهمیت شایانی برخوردارند (افروشه و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به افزایش فرین‌های آب‌وهوایی و مخاطرات طبیعی کشور ایران که با حساسیت اکولوژیکی مشخص می‌شود، این رویدادها بر وضعیت منابع آب، کشاورزی، انرژی، گردشگری و شرایط زیست آب‌وهوایی تأثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد؛ از این رو مطالعه این زمینه بایسته است. از آن‌جا که بیشتر مخاطرات طبیعی به‌صورت نهان در محیط طبیعی هستند، آمادگی برای رویارویی با آن نخست با بررسی دقیق ویژگی‌ها و سازوکارهای حاکم بر آنها به دست می‌آید. در گام پسین به کارگیری اصول مدیریت سانحه، به‌منظور پیشگیری و کاهش مخاطرات، آمادگی، رویارویی و بازسازی و بازتوانی مورد توجه است (Malalgoda, 2010). در این راستا، استفاده از مدل‌هایی که توانایی شبیه‌سازی آب‌وهوای آینده را دارند، بایسته به نظر می‌رسد تا بتوان با شبیه‌سازی آب‌وهوای آینده، مخاطرات آب‌وهوایی احتمالی آینده را شناسایی و برای رویارویی و مدیریت آن آمادگی لازم را به دست آورد. امروزه پژوهش‌های پرشماری در زمینه مدل‌های شبیه‌سازی به ویژه در زمینه ریزمقیاس نمایی خروجی الگوهای جهانی و برای نواحی مختلف با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (ماداگو و همکاران، ۲۰۱۶؛ پال و ایلتهایر، ۲۰۱۵؛ آرگوتس و همکاران، ۲۰۱۴) و با استفاده از روش اس دی اس ام و لارس دلبلیو جی (ساوویگنت و همکاران، ۲۰۱۰؛ دیبیک و کولیبالی، ۲۰۰۵؛ دارند و حمیدی، ۱۴۰۰؛ شیخ ربیعی و همکاران، ۱۴۰۰؛ تقی لو و همکاران، ۱۳۹۸؛ اشرف زاده و همکاران، ۱۳۹۸؛ عساکره و همکاران، ۱۳۹۸؛ عساکره و کیانی، ۱۳۹۷؛ سلاجقه و همکاران، ۱۳۹۶؛ عساکره و اکبر زاده، ۱۳۹۶؛ فحیمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ طائی سمیرمی و همکاران، ۱۳۹۳) عمدتاً برای دما انجام شده است. نتایج تمامی پژوهش‌های ذکر شده نشان داد که براساس سناریوی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، افزایش دما در آینده محتمل خواهد بود. همچنین به دلیل پیامدهای زیان‌بار رخدادهای فرین، پژوهش‌های گوناگونی نیز در مورد این رخدادها در ادبیات آب‌وهوا شناسی جهان (صادق و همکاران، ۲۰۲۰؛ دوکی و

روابط مختلفی با داده‌های پیش‌بینی شونده داشته باشند؛ بنابراین متغیرهایی مهم هستند (رضائی و همکاران، ۱۳۹۵). سومین گروه، داده‌های بزرگ مقیاس مربوط به مدل گردش عمومی جوی «HadCM3» برای سناریوهای بیلان تابش RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 براساس طول و عرض جغرافیایی ایستگاه زنجان اخذ شد (<http://ccds-dscc.ec.gc.ca>). این ایستگاه در یاخته $X=19$ و $Y=46$ واقع شده است. این داده‌ها برای شبیه‌سازی دمای زنجان تحت سناریوهای یاد شده به کار گرفته شدند. مدل HADCM3 در سال ۲۰۰۰ در مرکز هدلی سازمان هواشناسی انگلیس توسط گردون و همکارانش اجرا شده است. این مدل یک مدل جفت شده جوی - اقیانوسی است که از مؤلفه اتمسفری (HadAM3) و اقیانوسی (HadOM3) تشکیل شده است و تفکیک شبکه‌های آن به صورت $3/75 \times 2/5$ درجه با ۱۹ لایه در راستای قائم جو، ۴ لایه در ژرفای خاک و گام زمانی آن، ۳۰ دقیقه است. تفکیک اقیانوسی این مدل ۱/۲۵ در ۱/۲۵ است و گام زمانی فراسنج اقیانوسی به صورت انتگرال‌گیری هر یک ساعت است (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۴؛ سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). شبیه‌سازی‌ها بر پایه تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. این مدل توان جداسازی بالایی دارد و بین فراسنج‌های جوی و اقیانوسی هماهنگی خوبی دارد (شیدائیان و همکاران، ۱۳۹۳؛ خادمی و همکاران، ۱۳۹۶). نارسایی آشکار این مدل‌ها قدرت تفکیک مکانی کم و ساده سازی‌هایی است که برای فرایندهای آب‌وهوایی در نظر می‌گیرند. برای حل دشواری قدرت تفکیک پایین، لازم است برونداد این مدل‌ها پیش از استفاده در بررسی‌های ارزیابی آب‌وهوا، ریزمقیاس شوند (کازمی راد و محمدی، ۱۳۹۴) تا خروجی‌ها به متغیرهای سطحی در مقیاس منطقه مورد مطالعه تبدیل شوند.

روش اجرای پژوهش

مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری ترکیبی از دو روش تولید داده‌های آب و هوایی غیرقطعی و روش وایزای خطی است. این مدل را ویبلی و همکاران در سال ۲۰۰۰ توسعه دادند (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ Mahmood and Babel, 2014). ریزمقیاس‌نمایی مدلی است که به‌طور گسترده استفاده می‌شود. در فرایند شبیه‌سازی بر مبنای مراحل هفت‌گانه مختلفی (کنترل کیفی و تبدیل داده‌ها؛ بررسی و

همکاران، ۲۰۱۸؛ پاول و کیم، ۲۰۱۵؛ کینگهاف و همکاران، ۲۰۱۴) و ایران (فلاحی خوشجی و امیری، ۱۳۹۸؛ اوجی، ۱۳۹۷؛ عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۶؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴؛ یزدان پناه و علیزاده، ۱۳۹۰) وجود دارد.

منطقه مورد مطالعه

هدف اصلی پژوهش کنونی بررسی شبیه‌سازی مقادیر میانگین و فرین‌های کمینه، بیشینه و میانگین روزانه دمای شهر زنجان براساس سناریوهای آب‌وهوایی و با بهره‌گیری از مدل SDSM است.

مواد و روش‌ها

پژوهش کنونی از نوع کاربردی، روش پژوهش توصیفی - تحلیلی و روش گردآوری داده‌ها کتابخانه‌ای (اسنادی) است. در این پژوهش سعی شد با استفاده از مدل SDSM و با توجه به سناریوهای آب‌وهوایی، متغیرهای دمایی (کمینه، متوسط و بیشینه دما) شهر زنجان تا سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شود. پس از شبیه‌سازی، فرین‌های دما تحت سناریوهای مختلف و براساس صدک‌های مربوط استخراج گردید. در پژوهش حاضر از شگرد و ریزمقیاس‌نمایی آماری برای شبیه‌سازی استفاده شد.

داده‌ها

جامعه آماری در این پژوهش، شهر زنجان است و برای شبیه سازی متغیر دما از ۳ گروه داده به شرح زیر به کار گرفته شد: نخستین گروه، داده‌های روزانه میانگین کمینه، بیشینه و روزانه دمای ثبت شده از ایستگاه همدید زنجان طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۶۱ است. ایستگاه همدید زنجان با مختصات ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی در شهرستان زنجان قرار دارد. دومین گروه داده، داده‌های ۲۶ سنجه پیش‌بینی کننده جوی مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ مرکز ملی پیش‌بینی جوی^۳ است. این داده‌ها برای مدل‌سازی، واسنجی و آزمون درستی مدل جهت شبیه‌سازی به کار گرفته شده‌اند. روش‌های گوناگونی برای شبیه‌سازی متغیرهای آب‌وهوایی دوره‌های آینده تحت تأثیر تغییر آب‌وهوا و ریزمقیاس‌گردانی این داده‌ها وجود دارد که معتبرترین آن‌ها بهره‌گیری از داده‌های مدل گردش عمومی جو و روش‌های آماری است (اعتمادی و همکاران، ۱۳۹۴). متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP، می‌توانند

به روز با دمای فرین را نشان می‌دهد.

رابطه ۲)

$$F = \frac{D}{W} \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix}_D^W$$

در این پژوهش روش بیشینه درست‌نمایی به کار گرفته شده است. بر مبنای تئوری کلاسیک، احتمال براساس فراوانی نسبی در یک دوره آماری طولانی و به صورت درست‌نمایی بیشینه اتفاق افتادن رویداد مورد نظر تعریف می‌شود. ماتریس احتمال تغییر وضعیت به روش درست‌نمایی بیشینه به صورت رابطه ۳ به دست می‌آید (عساکره و مازینی، ۱۳۸۹).

رابطه ۳)

$$P = \frac{D}{W} \begin{bmatrix} \frac{n_{11}}{n_{1+}} & \frac{n_{12}}{n_{1+}} \\ \frac{n_{21}}{n_{2+}} & \frac{n_{22}}{n_{2+}} \end{bmatrix}_D^W$$

بحث و نتایج

واسنجی

برای به دست آوردن مناسب‌ترین متغیرهای جوی برای برآورد نمایه‌های سه‌گانه دما رابطه متغیرهای وابسته (کمینه، متوسط و بیشینه دمای روزانه) با متغیرهای مستقل جوی (NCEP) بررسی شد تا متغیرهای مستقل انتخاب شود و مدل برای متغیرهای وابسته واسنجی گردد. در جدول ۲ متغیرهای مورد استفاده ارائه شده است. جدول ۳ ضریب تعیین بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته، خطای استاندارد و آزمون دوربین واتسون را نشان می‌دهد. با توجه به همبستگی بالای متغیرها می‌توان از آنها به عنوان متغیر مستقل در برآورد متغیر وابسته استفاده نمود.

انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده؛ برازش الگو؛ تولید داده‌های آب و هوایی؛ واکاوی داده‌ها؛ تحلیل نموداری؛ تولید سناریو) الگوی گردش عمومی جو براساس داده‌های روزانه در هر نقطه یا منطقه معین ریزمقیاس می‌کند (Wilby et al, 2002; Kobuliev et al, 2021؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۴). از مدل زنجیره مارکوف برای بررسی احتمالاتی رویدادهای فرین استفاده شده است. زنجیره مارکف یک تکنیک ریاضی برای مدل‌سازی پدیده‌های تصادفی است که پیابند مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد (رزمی و ستوده، ۱۳۹۶). زنجیره مارکف بیان می‌کند که هر برآیند فرایندهای تصادفی به t رویداد بی‌درنگ قبل از خودش وابسته است و به رویدادهای پیشین مرتبط نیست (عساکره و مازینی، ۱۳۸۹؛ رزمی و ستوده، ۱۳۹۶). برای نمونه احتمال موج گرمای امروز براساس دمای روز قبل بررسی می‌شود. در پژوهش حاضر، برای بررسی احتمال رخداد فرین از زنجیره مارکف بار اول با آستانه صدکی استفاده شد. احتمال وضعیت بعد به یک مرحله قبل بستگی دارد و از رابطه ۱ استفاده می‌شود.

رابطه ۱)

$$\begin{aligned} P_{00} &= \Pr(X_{t+1} = 0 | X_t = 0) \\ P_{01} &= \Pr(X_{t+1} = 1 | X_t = 0) \\ P_{10} &= \Pr(X_{t+1} = 0 | X_t = 1) \\ P_{11} &= \Pr(X_{t+1} = 1 | X_t = 1) \end{aligned}$$

در پژوهش حاضر، در ابتدا با استفاده از آستانه صدکی فراوانی وقوع هر یک از حالات و تغییر حالات محاسبه شد. در مرحله بعد احتمال وقوع فرین‌های سه متغیر با استفاده از زنجیره مارکف محاسبه شد. ماتریس رابطه ۲ فراوانی تغییر وضعیت از روز با دمای نرمال به روز با دمای نرمال، تغییر روز با دمای نرمال به روز با دمای فرین، تغییر روز با دمای فرین به روز با دمای نرمال و تغییر روز با دمای فرین

جدول ۱: متغیرهای مستقل انتخاب شده براساس مدل SDSM

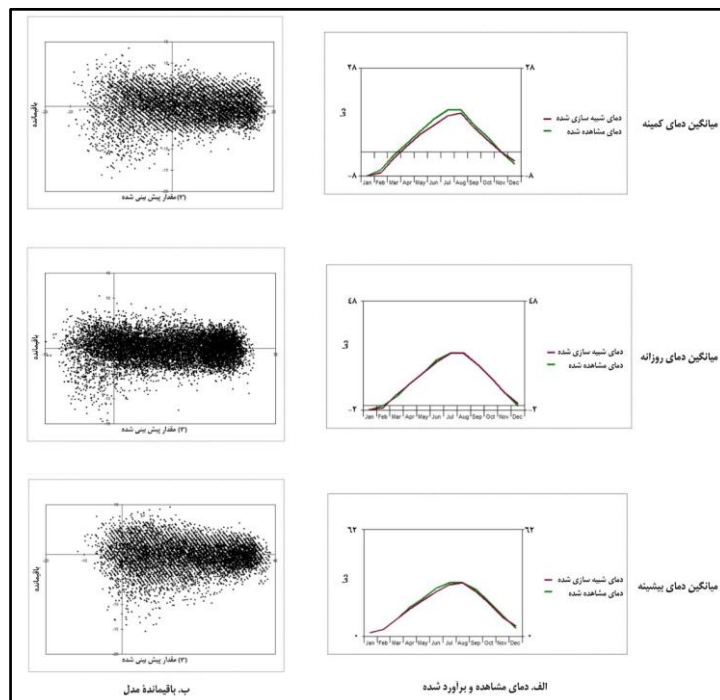
نام متغیر	متغیر مستقل	همبستگی	همبستگی جزئی	p-value
رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۸۲۹	۰/۱۰۴	.	.
رطوبت ویژه ۱۰۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۶۲	۰/۰۰۳	.	.
دمای سطح در ارتفاع ۲ متری	۰/۹۰۸	۰/۶۱۴	.	.
ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۶۲	-۰/۰۱۰	.	.
رطوبت ویژه ۱۰۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۷۸	۰/۲۸۳	.	.
دمای سطح در ارتفاع ۲ متری	۰/۹۶۰	۰/۷۱۸	.	.
فشار متوسط از سطح دریا	-۰/۶۹۸	-۰/۴۳۲	.	.
ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۹۳	۰/۴۷۳	.	.
دمای سطح در ارتفاع ۲ متری	۰/۹۵۹	۰/۳۰۸	.	.

جدول ۲: نتایج حاصل از مرحله کالیبراسیون جهت شبیه‌سازی داده‌های دما (به درجه سلسیوس)

میانگین	dec	nov	oct	sep	aug	jul	jun	may	apr	mar	feb	jan		
۰/۴۰۳	۰/۵۰۳	۰/۴۶۴	۰/۳۲۳	۰/۳۲۸	۰/۲۶۳	۰/۳۰۳	۰/۲۹۷	۰/۳۵۳	۰/۴۲۴	۰/۵۷۸	۰/۴۹۴	۰/۵۰۲	R square	کمینه
۳/۰۵۷	۳/۸۷۱	۲/۹۷۴	۲/۸۴۲	۲/۴۱۰	۲/۴۵۷	۲/۳۵۷	۲/۳۰۸	۲/۴۷۱	۲/۹۲۱	۲/۸۸۵	۴/۴۹۹	۴/۶۸۸	SE	دما
۱/۰۵۸	۰/۷۸۶	۰/۸۳۷	۱/۰۷۷	۱/۴۱۸	۱/۱۰۹	۱/۱۲۵	۱/۲۷۳	۱/۳۴۴	۱/۰۸۲	۱/۱۱۲	۰/۷۵۵	۰/۷۷۵	Durbin-Watson	
۰/۵۸۲	۰/۶۶۲	۰/۶۶۰	۰/۶۱۷	۰/۵۴۸	۰/۴۹۵	۰/۴۲۸	۰/۵۰۴	۰/۵۵۸	۰/۶۱۰	۰/۶۹۱	۰/۶۳۳	۰/۵۷۹	R square	متوسط
۲/۵۱۷	۲/۸۶۵	۲/۲۵۷	۲/۳۴۴	۲/۰۶۱	۲/۰۶۵	۲/۱۷۸	۲/۲۷۶	۲/۵۰۱	۲/۴۶۰	۲/۴۹۴	۳/۱۳۷	۳/۵۶۹	SE	دما
۰/۵۹۰	۰/۶۱۲	۰/۶۴۲	۰/۶۲۷	۰/۶۵۱	۰/۴۵۱	۰/۴۰۶	۰/۴۷۱	۰/۶۲۲	۰/۸۱۳	۰/۶۸۸	۰/۵۸۷	۰/۵۱۵	Durbin-Watson	
۰/۶۶۴	۰/۶۵۲	۰/۶۵۰	۰/۷۲۸	۰/۷۵۶	۰/۷۰۵	۰/۶۵۱	۰/۷۳۱	۰/۶۶۶	۰/۶۶۱	۰/۶۷۱	۰/۵۶۲	۰/۵۳۹	R square	بیشینه
۲/۵۰۷	۳/۱۰۷	۲/۶۸۸	۲/۳۱۳	۱/۶۴۷	۱/۶۹۸	۱/۹۳۳	۱/۷۷۹	۲/۳۴۴	۲/۶۶۴	۲/۸۷۳	۳/۴۰۱	۳/۶۳۸	SE	دما
۰/۹۳۹	۰/۸۱۴	۰/۸۰۶	۰/۹۵۳	۱/۱۳۹	۱/۱۱۰	۰/۹۴۸	۱/۰۷۴	۰/۸۸۶	۱/۱۱۴	۰/۹۳۲	۰/۷۱۶	۰/۷۷۵	Durbin-Watson	

شکل ۲ می‌توان دید که مدل‌ها کارایی بالایی در شبیه‌سازی داده‌های مربوطه را دارند. به طوری که میانگین مشاهدات و مقادیر شبیه‌سازی کم‌ترین اختلاف را نسبت به هم دارند. همچنین نمودارهای پراکنش نگار باقیمانده‌ها در شکل ۳ نیز حکایت از آن دارد که مدل SDSM از کارایی مناسبی جهت ریزمقیاس‌نمایی نمایه‌های دمایی با استفاده از داده‌های NCEP برخوردار است.

به منظور واسنجی مدل SDSM داده‌های مشاهداتی ایستگاه زنجان و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی NCEP به دو دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۹۱-۲۰۰۵ تقسیم شدند. از دوره اول برای واسنجی مدل استفاده شد. شکل ۲ میانگین کمینه، متوسط و بیشینه دمای مشاهده شده و با مدل‌های شبیه‌سازی شده آنها طی دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ را برای مقایسه آنها ارائه می‌کند. براساس نمودارهای



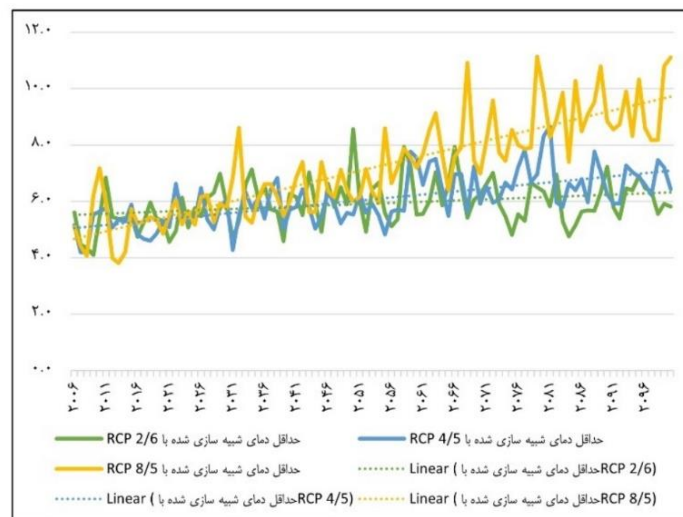
شکل ۱: الف: کمینه، متوسط و بیشینه دمای (درجه سلسیوس) برآورد و مشاهده شده با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی SDSM و ب: باقیمانده‌های مدل در برابر مقادیر شبیه‌سازی شده طی دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰

مقادیر برآورد شده ۳ متغیر مورد مطالعه در برابر باقیمانده‌ها الگوی خاصی ندارند و در امتداد محور X پراکنده شده‌اند. بنابراین و همان‌طور که دیده می‌شود مدل قادر است دما را

که مدل به خوبی برازش یافته باشد، نمودارهای ذکر شده باید بدون الگو پراکنده‌گی خاصی باشند و در اطراف میانگین صفر قرار بگیرند. شکل ۲ نشان می‌دهد که پراکنش‌های

حاضر نشان می‌دهد که کمینه دمای زنجان از میانگین افزایش کمینه دمای کشور بیشتر افزایش خواهد یافت. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مقادیر دوره پایه (۲۰۲۱-۱۹۶۱) نشان می‌دهد که در همه سناریوها دما نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. همان‌طور که در جدول زیر مشخص است در دوره ۲۰۸۱-۲۰۶۲ افزایش کمینه دما در دو سناریوی RCP2.6 و RCP4.5 بیش از دوره‌های دیگر است ولی در سناریوی RCP8.5 در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۲ بیشترین افزایش را خواهد داشت. در پژوهشی عساکره و همکاران (۱۳۹۸) دمای کمینه در پنج ایستگاه هواشناسی استان مازندران با استفاده از مدل SDSM و داده‌های مدل HADCM3 را شبیه‌سازی کردند، نتایج نشان داد دمای کمینه در دوره‌های ۲۰۱۶ - ۲۰۳۹، ۲۰۴۰ - ۲۰۶۹ و ۲۰۷۰ - ۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه روندی افزایشی دارد.

با اختلاف اندکی نسبت به میانگین مشاهداتی برآورد کند. شبیه‌سازی بررسی متوسط کمینه دما متوسط کمینه دمای شبیه‌سازی شده طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۲ با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب ۶/۱، ۶/۳ و ۷/۶ است. میانگین مشاهده شده این متغیر طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۵۵، ۴/۵ است. بنابراین با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل SDSM، تحت سناریوهای مختلف افزایش دما از ۱/۶ تا ۳/۱ درجه (به‌طور متوسط ۲ درجه سلسیوس) مورد انتظار است. نتایج پژوهش دارند و حمیدی (۱۴۰۰) در رابطه با شبیه‌سازی تغییرات دمای ایران براساس سناریوی RCP8.5 نشان داد که کمینه دما در ایران تا سال ۲۱۰۰ به‌طور متوسط ۱ درجه افزایش خواهد یافت. بنابراین یافته‌های پژوهش



شکل ۲: نمودار کمینه دمای سالانه شبیه‌سازی شده (درجه سلسیوس) در ایستگاه زنجان طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۲

جدول ۳: میانگین تغییرات دمای کمینه (درجه سلسیوس) در ایستگاه زنجان در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۲۲، ۲۰۶۱-۲۰۴۲، ۲۰۸۱-۲۰۶۲ و ۲۱۰۰-۲۰۸۲

دوره	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
۲۰۴۱-۲۰۲۲	۵/۹	۵/۷	۶/۱
۲۰۶۱-۲۰۴۲	۶/۲	۵/۹	۶/۸
۲۰۸۱-۲۰۶۲	۶/۲	۶/۸	۸/۴
۲۱۰۰-۲۰۸۲	۶	۶/۶	۹/۳

دمای کمینه کمی کاهش خواهد یافت. در بدترین شرایط، کمینه دمای شبیه‌سازی شده تنها در ماه ژانویه زیر صفر درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به عبارت دیگر تمامی ماه‌ها گرم خواهند شد و تنها ماه میانی فصل زمستان دمای زیر صفر

بررسی ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده دمای کمینه نشان می‌دهد که براساس تمامی سناریوها میانگین کمینه دما در ماه‌های ژانویه و فوریه بیشترین و در ماه آوریل کمترین افزایش را خواهد داشت. در ماه اکتبر نیز

افزایش کمینه و بیشینه دمای ماه‌های سال در دهه‌های آتی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرین‌های کمینه دما نشان می‌دهد که احتمال وقوع فرین‌های سرد (۲۶ درصد) بیشتر از فرین‌های گرم (۲۵ درصد) است.

درجه را تجربه خواهد کرد و دوره سرد سال بسیار کوتاه خواهد شد. نتایج ریزمقیاس نمایی پژوهش شیخ ربیعی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه حوزه آبخیز کرگانرود و سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه دو ایستگاه همدید روانسر و کرمانشاه،

جدول ۴: مقایسه داده‌های ماهانه کمینه دمای مشاهده شده با دمای شبیه‌سازی شده آنها (درجه سلسیوس) طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و ۲۰۰۶-۲۱۰۰

dec	nov	oct	sep	aug	jul	jun	may	apr	mar	feb	jan	
-۴/۵	۰/۵	۵/۴	۹/۷	۱۴/۲	۱۴/۷	۱۱	۷/۵	۳/۷	-۱/۴	-۶/۴	-۸	کمینه دمای مشاهده شده
-۰/۲	۲/۸	۴/۱	۹/۷	۱۵/۵	۱۵/۴	۱۱/۹	۸/۵	۴	۱/۴	-۰/۲	-۲/۳	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP2.6
-۰/۱	۲/۸	۴/۲	۱۰/۱	۱۵/۷	۱۵/۷	۱۲/۱	۸/۹	۳/۸	۱/۴	۰/۲	-۲/۴	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP4.5
۱/۲	۴	۵/۲	۱۱/۳	۱۷	۱۶/۷	۱۲/۹	۹/۷	۴/۱	۲/۲	۲	-۰/۳	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP8.5

جدول ۵: صدک متغیرهای کمینه دمای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده (درجه سلسیوس) با استفاده از روش SDSM

احتمال وقوع فرین گرم	۷۵	احتمال وقوع فرین سرد	۲۵	متغیر
۰/۲۴	۱۱	۰/۲۵	-۱	کمینه دمای مشاهده شده
۰/۲۵	۱۱/۷۰	۰/۲۶	۱/۲۰	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6
۰/۲۵	۱۲	۰/۲۶	۱/۲۰	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5
۰/۲۵	۱۳/۲۰	۰/۲۶	۲/۱۰	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5

نتایج جدول انتظار می‌رود براساس ۳ سناریوی مذکور، رخداد فرین‌های پایین و رخداد فرین بالای دما برای سال‌های آتی رو به افزایش باشد. بنابراین احتمال رخداد ناگهانی روزهای زمستانی سردتر و روزهای تابستانی گرم‌تر وجود دارد و رخداد فرین‌ها در حال افزایش است. همچنین نتایج پژوهش فلاحی خوشجی و اکبری (۱۳۹۸) که به بررسی تغییرات فرین‌های دمایی در شمال غرب پرداخته‌اند نشان داد که شاخص روزهای سرد تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه شهرکرد روند کاهشی معناداری دارد.

فراوانی فرین‌های کمینه دمای شبیه‌سازی شده طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۲۱ با مدل SDSM در جدول زیر نمایش داده شده است. مطابق این جدول برای صدک اول و سوم، تعداد رخداد فراوانی فرین دمای شبیه‌سازی شده در هر سه سناریو بیشتر از تعداد فراوانی فرین‌های مشاهده شده است. به‌طور مثال فرین‌های پایین کمینه دمای مشاهده شده، ۴۰۲۳ روز گزارش شده است، در حالی که فرین‌های کمینه دمای شبیه‌سازی شده در بدترین شرایط (سناریوی RCP8.5) ۶۷۶۵ روز پیش‌بینی شده است، به عبارت دیگر با توجه به

جدول ۶: فراوانی روزهای فرین‌های کمینه دمای شبیه‌سازی شده

مجموع	صدک	متغیر
۴۰۲۳		کمینه دمای مشاهده شده
۷۱۰۲	۲۵	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6
۷۰۷۷		کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5
۶۷۶۵		کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5
۱۴۸۹		کمینه دمای مشاهده شده
۷۴۸۱	۷۵	کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6
۷۴۷۲		کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5
۷۷۹۲		کمینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5

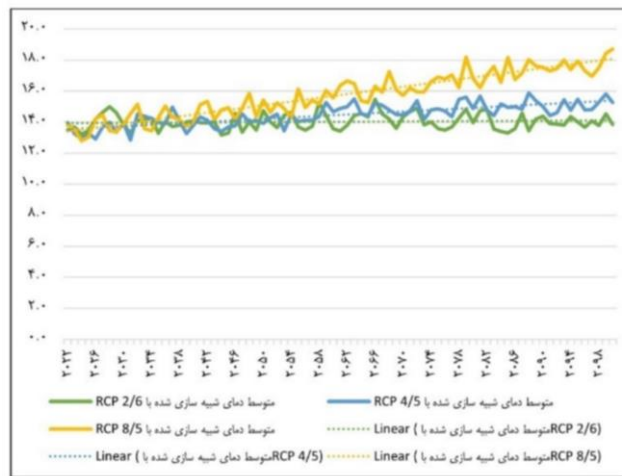
این متغیر طی دوره ۲۰۲۲-۱۹۵۵، ۱۱/۹۷ سلسیوس بوده است. بنابراین با توجه به شبیه‌سازی انجام شده به وسیله مدل SDSM، به‌طور متوسط با توجه به تمامی سناریوها، احتمال افزایش متوسط روزانه دما حدود ۳ درجه خواهد بود. در گزارش سال

بررسی متوسط دما

متوسط روزانه دمای شبیه‌سازی شده دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۲ با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب ۱۴، ۱۴/۵ و ۱۵/۷ سلسیوس به دست آمد. میانگین مشاهده شده

متوسط دما یکسان است، در دوره ۲۰۸۱-۲۰۶۲ افزایش متوسط دما در سناریوی RCP2.6 بیش از دوره‌های دیگر است. در سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 و در دوره ۲۱۰۰-۲۰۸۲ بیشترین افزایش را خواهد داشت. طائی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۳) در شبیه‌سازی متغیرهای آب‌وهوایی حوزه آبخیز بار نیشابور نشان دادند که دمای کمینه، متوسط و بیشینه در دوره‌های مختلف به ویژه در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ افزایش خواهد یافت.

۲۰۰۷ هیئت بین‌الدول تغییر آب‌وهوا نیز داده‌های ۵ ایستگاه هواشناسی که حدود ۴۰۰ سال دیده‌بانی قابل اعتماد داشته است، افزایش معنی‌دار میانگین دمای سالانه را نشان داده است (پناهی و اسمعیلی، ۱۳۹۹). همچنین نتایج پژوهش دارند و حمیدی (۱۴۰۰) نشان می‌دهد که متوسط دما در ایران تا سال ۲۱۰۰ به‌طور متوسط ۱/۵ درجه افزایش خواهد یافت در حالی که افزایش متوسط دما در زنجان دو برابر متوسط افزایش دمای کشور خواهد بود. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مقادیر دوره پایه نشان می‌دهد که در دو دوره ۲۰۲۲-۲۰۴۱ و ۲۰۶۱-۲۰۴۲



شکل ۳: نمودار متوسط دمای سالانه شبیه‌سازی شده (درجه سلسیوس) زنجان طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۲

جدول ۷: تغییرات دمای متوسط (درجه سلسیوس) ایستگاه زنجان در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۲۲، ۲۰۶۱-۲۰۴۲، ۲۰۸۱-۲۰۶۲ و ۲۱۰۰-۲۰۸۲

دوره	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
۲۰۴۱-۲۰۲۲	۱۳/۹	۱۳/۸	۱۴
۲۰۶۱-۲۰۴۲	۱۳/۹	۱۴/۲	۱۵/۱
۲۰۸۱-۲۰۶۲	۱۴/۳	۱۴/۹	۱۶/۴
۲۱۰۰-۲۰۸۲	۱۴	۱۵/۱	۱۷/۶

متوسط و بیشینه در ماه‌های سرد سال را افزایش نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرین‌های متوسط دما نشان می‌دهد که این متغیر نیز همانند کمینه دما احتمال وقوع فرین‌های سرد (۲۶ درصد) بیشتر از فرین‌های گرم (۲۵ درصد) است.

بررسی ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده متوسط دما نشان می‌دهد که براساس تمامی سناریوها متوسط دما نیز همانند دمای کمینه در ماه‌های ژانویه و فوریه بیشترین افزایش را دارد و در ماه اکتبر در براساس تمامی سناریوها دمای کمینه کمی کاهش خواهد یافت. نتایج پژوهش فخمی و همکاران (۱۳۹۴) نیز دمای کمینه،

جدول ۸: مقایسه داده‌های ماهانه متوسط دمای مشاهده شده با دمای شبیه‌سازی شده آنها (درجه سلسیوس) طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و ۲۰۰۶-۲۱۰۰

dec	nov	oct	sep	aug	jul	jun	may	apr	Mar	feb	jan	
۰/۵	۶/۳	۱۳/۱	۱۹/۷	۲۴	۲۴/۵	۲۱/۱	۱۵/۸	۱۰/۸	۴/۷	-۰/۸	-۲/۸	متوسط دمای مشاهده شده
												متوسط دمای شبیه‌سازی شده با RCP
۳/۸	۷/۸	۱۱/۲	۱۹/۱	۲۵/۶	۲۷/۷	۲۴	۱۷/۸	۱۲/۲	۸/۹	۴/۹	۲/۸	2/6

۴/۱	۸/۱	۱۱/۴	۱۹/۶	۲۶/۱	۲۸/۲	۲۴/۴	۱۷/۹	۱۲/۴	۹/۳	۵/۴	۳	متوسط دمای شبیه‌سازی شده با RCP 4/5
۵/۲	۹/۳	۱۲/۶	۲۰/۶	۲۷/۳	۲۹/۳	۲۵/۳	۱۸/۴	۱۳	۱۰/۲	۷	۴/۷	متوسط دمای شبیه‌سازی شده با RCP 8/5

جدول ۹: صدک متغیرهای متوسط دمای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده (درجه سلسیوس) با استفاده از روش SDSM

متغیر	۲۵	احتمال وقوع فرین سرد	۷۵	احتمال وقوع فرین گرم
متوسط دمای مشاهده شده	۳/۶۰	۰/۲۵	۲۰/۵۰	۰/۲۴
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6	۶/۹۰	۰/۲۶	۲۲/۲۰	۰/۲۵
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5	۷/۱۰	۰/۲۶	۲۲/۵۰	۰/۲۵
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5	۸/۳۰	۰/۲۶	۲۳/۳۰	۰/۲۵

دمای شبیه‌سازی شده در بدترین شرایط (سناریوی RCP8.5) ۶۷۲۰ روز پیش‌بینی شده است. یافته‌های پژوهش دارند و همکاران (۱۳۹۳) در رابطه با بررسی رفتار فرین‌های بارش و دما در کرمانشاه نیز نشان می‌دهد که نمایه‌های فرین‌های سرد رو به کاهش است در حالی که فرین‌های گرم روزهای تابستانی، شب‌های گرم و تعداد امواج گرما افزایش یافته است.

فراوانی فرین‌های متوسط دمای شبیه‌سازی شده طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۲۱ با مدل SDSM در جدول ۷ نمایش داده شده است. مطابق این جدول تعداد فراوانی فرین‌های مشاهده شده برای صدک اول و سوم کم‌تر از تعداد رخداد فراوانی فرین دمای شبیه‌سازی شده در هر سه سناریو است. به‌طور مثال فرین‌های پایین متوسط دمای مشاهده شده، ۴۱۴۷ روز گزارش شده است، در حالی که فرین‌های متوسط

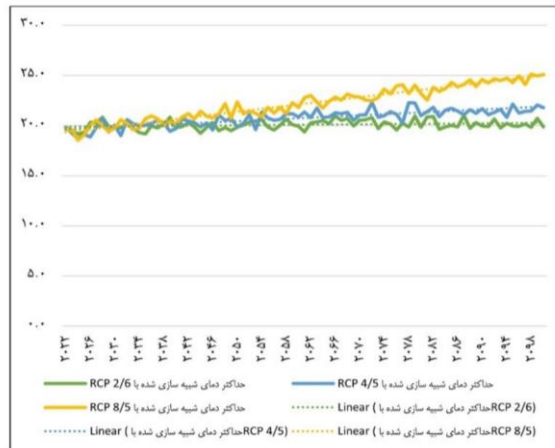
جدول ۱۰: فراوانی روزهای فرین‌های متوسط دمای شبیه‌سازی شده

مجموع	صدک	متوسط دمای مشاهده شده
۴۱۴۷		متوسط دمای مشاهده شده
۷۱۰۷	۲۵	متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6
۶۹۵۲		متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5
۶۷۲۰		متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5
۱۶۹۰		متوسط دمای مشاهده شده
۷۳۵۳	۷۵	متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6
۷۴۱۶		متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5
۷۵۲۰		متوسط دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5

مشاهده شده با آماره‌های شبیه‌سازی شده نظیر با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را نشان می‌دهند. مقایسه نتایج شبیه‌سازی با مقادیر دوره پایه (۲۰۲۱-۱۹۶۱) نشان می‌دهد که در تمامی سناریوها بیشینه دما در دوره ۲۰۸۲-۲۱۰۰ بیشترین افزایش را خواهد داشت. عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶) نیز در شبیه‌سازی دما و بارش ایستگاه تبریز با استفاده از روش SDSM نشان دادند که دما در ایستگاه تبریز براساس سه سناریوی مورد بررسی به‌ویژه در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ افزایش خواهد یافت.

بررسی متوسط بیشینه دما

متوسط بیشینه دمای شبیه‌سازی شده از سال ۲۱۰۰-۲۰۲۲ با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب ۲۰/۱، ۲۰/۸ و ۲۲/۲ درجه سلسیوس است و میانگین مشاهده شده این متغیر طی دوره ۲۰۲۲-۱۹۵۵، ۱۸/۴۱ درجه سلسیوس است. بدین معنی است که افزایش میانگین بیشینه دما به‌طور متوسط ۳ درجه محتمل است. نتایج پژوهش دارند و حمیدی (۱۴۰۰) براساس سناریوی RCP8.5، نشان از افزایش بیش از ۱ درجه سلسیوس متوسط بیشینه دما در ایران تا سال ۲۱۰۰ دارد. نمودارهای شکل ۴ آماره‌های ماهانه مربوط به مقادیر



شکل ۴: نمودار بیشینه دمای سالانه شبیه‌سازی شده (درجه سلسیوس) زنجان طی دوره ۲۰۲۲-۲۱۰۰

جدول ۱۱: تغییرات دمای بیشینه (درجه سلسیوس) ایستگاه زنجان در دوره‌های ۲۰۲۲-۲۰۴۱، ۲۰۶۱-۲۰۴۲، ۲۰۸۱-۲۰۶۲ و ۲۱۰۰-۲۰۸۲

دوره	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
۲۰۴۱-۲۰۲۲	۱۹/۹	۱۹/۸	۲۰
۲۰۶۱-۲۰۴۲	۲۰	۲۰/۶	۲۱/۵
۲۰۸۱-۲۰۶۲	۲۰/۳	۲۱/۲	۲۳
۲۱۰۰-۲۰۸۲	۲۰/۱	۲۱/۵	۲۴/۴

بررسی ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده بیشینه دما نشان می‌دهد که براساس تمامی سناریوها بیشینه دما در ماه آگوست بیشترین افزایش و ماه آوریل کم‌ترین افزایش را خواهد داشت. در بررسی روند تغییرات

دمای ایستگاه زنجان به وسیله فخمی و همکاران (۱۳۹۴) مشخص شد که کمینه، متوسط و بیشینه دما در تمامی ماه‌های سال به جز ماه نوامبر روند افزایشی دارد. نتایج این پژوهش با پژوهش حاضر همسو است.

جدول ۱۲: مقایسه داده‌های ماهانه بیشینه دمای مشاهده شده با دمای شبیه‌سازی شده آنها (درجه سلسیوس) طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ و ۲۰۰۶-۲۱۰۰

dec	nov	oct	sep	aug	jul	jun	may	apr	Mar	feb	jan	
۵/۷	۱۲/۴	۲۰/۵	۲۷/۹	۳۱/۱	۳۱/۹	۲۸/۵	۲۲/۵	۱۷/۲	۱۰/۴	۴/۵	۲/۴	بیشینه دمای مشاهده شده
۷/۹	۱۲/۷	۲۰/۳	۲۹	۳۵/۹	۳۵/۳	۳۰/۸	۲۳/۳	۱۷	۱۲/۷	۷/۹	۵/۱	بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP 2/6
۸/۴	۱۳/۲	۲۰/۷	۲۹/۷	۳۶/۴	۳۶/۲	۳۱/۴	۲۳/۸	۱۷/۵	۱۳/۴	۸/۳	۵/۵	بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP 4/5
۹/۳	۱۴/۴	۲۲/۵	۳۱/۱	۳۸/۳	۳۷/۹	۳۲/۷	۲۴/۵	۱۸/۴	۱۴/۲	۹/۲	۶/۳	بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP 8/5

نتایج حاصل از شبیه‌سازی فرین‌های بیشینه دما در جدول ۶ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که همانند دو متغیر دیگر، با توجه به تمامی سناریوها، احتمال وقوع فرین پایین شبیه‌سازی شده (۲۵ درصد) نسبت به احتمال وقوع فرین

پایین مشاهده شده (۲۸ درصد) کاهش خواهد یافت، در حالی که احتمال وقوع فرین بالا افزایش را نشان می‌دهد. احتمال رخداد موج‌های سرمای در منطقه مورد مطالعه بیشتر است.

جدول ۱۳: صدک متغیرهای بیشینه دمای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده (درجه سلسیوس) با استفاده از روش SDSM

متغیر	۲۵	احتمال وقوع فرین سرد	۷۵	احتمال وقوع فرین گرم
بیشینه دمای مشاهده شده	۹/۴۰	۰/۲۸	۲۸/۴۰	۰/۲۳
بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP2.6 و SDSM	۱۰/۲۰	۰/۲۵	۳۰/۳۰	۰/۲۵
بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP4.5 و SDSM	۱۰/۷۰	۰/۲۵	۳۰/۷۰	۰/۲۵
بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با RCP8.5 و SDSM	۱۱/۶۰	۰/۲۵	۳۲	۰/۲۵

شرایط (سناریوی RCP8.5) ۶۸۵۶ روز پیش‌بینی شده است، به عبارت دیگر با توجه به نتایج جدول انتظار می‌رود براساس ۳ سناریوی مذکور، رخداد فرین‌های پایین و رخداد فرین بالای دما برای سال‌های آتی رو به افزایش باشد. یزدان پناه و علیزاده (۱۳۹۰) نیز در بررسی احتمال وقوع امواج گرمایی در استان کرمان نشان دادند که روند امواج گرمایی این استان افزایشی است. یافته‌های ایشان با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

فراوانی فرین‌های بیشینه دمای شبیه‌سازی شده طی دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۲۱ با مدل SDSM در جدول ۷ نمایش داده شده است. مطابق این جدول تعداد فراوانی فرین‌های مشاهده شده در هر سه متغیر برای صدک اول و سوم کم‌تر از تعداد رخداد فراوانی فرین دمای شبیه‌سازی شده در هر سه سناریو می‌باشد. به‌طور مثال فرین‌های پایین بیشینه دمای مشاهده شده، ۴۲۵۴ روز گزارش شده است، در حالی که فرین‌های متوسط دمای شبیه‌سازی شده در بدترین

جدول ۱۴: فراوانی روزهای فرین‌های بیشینه دمای شبیه‌سازی شده

مجموع	صدک	بیشینه‌ی دمای مشاهده شده
۴۲۵۴		بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6
۷۰۸۳	۲۵	بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5
۶۹۷۶		بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5
۶۸۵۶		بیشینه دمای مشاهده شده
۱۴۷۱		بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP2.6
۷۴۰۶	۷۵	بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP4.5
۷۵۲۵		بیشینه دمای شبیه‌سازی شده با SDSM و RCP8.5
۷۶۹۵		

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد سناریوهای آب‌وهوایی در شبیه‌سازی فرین‌های دما با استفاده از مدل SDSM مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا داده‌های کمینه، متوسط و بیشینه دمای شهر زنجان طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۲۱ مورد استفاده قرار گرفته است و براساس سناریوهای آب‌وهوایی تا سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شده است. به‌منظور واسنجی مدل SDSM داده‌های مشاهداتی ایستگاه زنجان و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی NCEP به دو دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۹۱-۲۰۰۵ تقسیم شدند. از دوره اول برای واسنجی مدل استفاده شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی داده‌های فرین دمایی نشان داد که میانگین کمینه دمای شبیه‌سازی شده از سال ۲۰۲۲-۲۱۰۰ با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب ۶/۱، ۶/۳ و ۷/۶ درجه سلسیوس است. در حالی که میانگین مثبت شده این متغیر طی دوره ۱۹۵۵-۲۰۲۱، ۴/۵ درجه سلسیوس است. میانگین متوسط دمای شبیه‌سازی شده از سال ۲۰۲۲-۲۱۰۰ با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب ۱۴، ۱۴/۵ و ۱۵/۷ درجه سلسیوس است. در حالی که میانگین مثبت شده این متغیر طی دوره ۱۹۵۵-۲۰۲۲، ۱۱/۹۷ درجه سلسیوس است.

میانگین بیشینه دمای شبیه‌سازی شده از سال ۲۱۰۰-۲۰۲۲ با استفاده از سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5، به ترتیب ۲۰/۱، ۲۰/۸ و ۲۲/۲ درجه سلسیوس است. در حالی که میانگین مثبت شده این متغیر طی دوره ۱۹۵۵-۲۰۲۲، ۱۸/۴۱ درجه سلسیوس است. بنابراین با توجه به سناریوهای ذکر شده و شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل SDSM، احتمال دارد کمینه، متوسط و بیشینه دما به ترتیب به‌طور متوسط ۲، ۳ و ۳ درجه سلسیوس افزایش یابد. نتایج شبیه‌سازی سه متغیر دمای مورد مطالعه نشان داد که در تمامی سناریوها در دوره ۲۰۸۲-۲۱۰۰ نسبت به مقادیر این متغیرها در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۲۱) بیشترین افزایش را خواهند داشت. بررسی ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده شده متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که میانگین کمینه و متوسط دما در ماه‌های ژانویه و فوریه بیشترین افزایش و در ماه اکتبر کم‌ترین افزایش را خواهد داشت. در حالی که میانگین بیشینه دما در ماه اوت بیشترین افزایش و ماه آوریل کم‌ترین افزایش را خواهد داشت. بدین معنی است که همه فصول سال به‌ویژه فصول سرد سال، گرم‌تر خواهند شد. به عبارت دیگر فصول سرد کوتاه‌تر خواهند شد. تعداد فراوانی فرین‌های مشاهده شده در هر سه متغیر فراسنج دمایی

(۱۳۹۶)، جعفرزاده و همکاران (۱۳۹۵) و فخیمی و همکاران (۱۳۹۴)، طائی سمیرمی و همکاران، (۱۳۹۳) که به شبیه‌سازی تغییرات میانگین دما با استفاده از مدل SDSM در منطقه مورد مطالعه شان پرداخته‌اند و فلاحی خوشجی و اکبری (۱۳۹۸) که بررسی تغییرات فرین‌های دمایی را مورد توجه قرار داده‌اند و نیز یزدان پناه و علیزاده (۱۳۹۰) که احتمال وقوع امواج گرمایی را مطالعه کرده‌اند، نشان می‌دهد که نتایج با این مطالعات همسو و همخوانی دارد و دما در هر یک از مطالعات روند افزایشی را نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.

برای صدک ۲۵م و ۷۵م کم‌تر از تعداد رخداد فروانی فرین دمای شبیه‌سازی شده در هر سه سناریو پیش‌بینی شده است. نتایج شبیه‌سازی دمای ایستگاه زنجان با نتایج پیش‌بینی هیئت بین الدول تغییرات آب‌وهوا مطابقت دارد و افزایش دما در آینده را نشان می‌دهد. احتمال افزایش فراوانی رخداد امواج گرما و سرما برای سال‌های آتی رو به افزایش است و باید برنامه‌ریزی و مدیریت حساب شده برای کاهش آنها در دست اقدام قرار گیرد. پیامد تغییرات دمایی در آینده سبب تغییر الگوی کشت و تقویم زراعی، افزایش مصرف سوخت برای تأمین انرژی، تنش‌های حرارتی بر روی موجودات زنده و ... می‌شود. به‌طور کلی مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین، از جمله، دیبیک و کولیالی (۲۰۰۵)، دارند و حمیدی (۱۴۰۰)، شیخ ربیعی و همکاران (۱۴۰۰)، اشرف زاده و همکاران (۱۳۹۸)، عساکره و کیانی (۱۳۹۷)، عساکره و اکبر زاده (۱۳۹۶)، سلاجقه و همکاران

پانویس

1-Greenhouse Gases

2-Intergovernmental Panel of Climate Changes

3-NCEP/NCAR

منابع (References)

-Afrosheh, R., Rasouli, A.A., Mokhtari, D. and Jalali, T., 1400. Analysis of the behavior of the distribution sequence and the frequency of extreme events in selected stations in the west of Iran. *Scientific Quarterly of Geographical Space*, 21st year, v. 74, p. 73-88 (in Persian).
 -Ansari Mahabadi, S., Dehban, H., Zareian, M.J. and Farrokhnia, A., 1401. Studying the trend of temperature and precipitation changes in Iran's watersheds in the next 20 years based on the output of CMIP6 models, *Iranian Water Research Journal*, v. 16(1(44)), p. 11-24 (in Persian).
 -Argueso, D., Evans, Jason, P., Fita, L. and Bormann, K.J., 2014. Temperature response to future urbanization and climate change, *Climate Dynamics*, v. 42, p. 2183-2199.
 -Asakereh, H. and Kayani, H., 2017. evaluation of the efficiency of SDSM model in simulating the average temperature of Kermanshah city, *Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, v. 27(105), p. 49-62 (in Persian).
 -Asakereh, H. and Akbarzadeh, Y., 2016. Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during the period (2010-2100) using Statistical

Exponential Microscale (SDSM) and CanESM2 model output, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, v. 6(1(21)), p. 153-174 (in Persian).
 -Asakereh, H. and Mazini, F., 2009. investigating the probability of dry days in Golestan province using the Markov chain model, *Geography and Development*, v. 17, p. 29-44 (in Persian).
 -Asakereh, H., Shahbani Kotnai, A. and Farumdi, M., 2018. evaluation of changes and prediction of minimum temperature in the west of Mazandaran province using SDSM statistical microscale model, *Water and Soil Sciences - Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, v. 23(1), p. 101-119 (in Persian).
 -Ashrafzadeh, A., Salehpour, J., Sharifi, A. and Nasab Pour Molaei, M., 2018. The effect of climate change on temperature and precipitation and the assessment of the uncertainty of atmospheric general circulation models and climate scenarios (case study: Jiroft city, Miande supplementary synoptic station), *Human and Environment Journal*, published online from May 2 (in Persian).

- Chen, Y., Moufouma-Okia, W., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., and Pirani, A., 2018. Annual Review of Environment and Resources: Recent Progress and Emerging Topics on Weather and Climate Extremes Since the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, v. 43, p. 17.1-17.25, 10.1146/annurev-environ-102017-030052
- Darand, M. and Hamidi, S., 1400. simulation of Iran Earth temperature changes based on different RCP scenarios, Journal of Environmental Hazards, v. 10(28(2)), p. 85-106 (in Persian).
- Darand, M., Dolatyari, Z., Aslani Slammers, F. and Azizi, Y., 2013. Investigating the behavior of precipitation and temperature variables in Kermanshah with the help of statistical tests, Geospatial Journal, v. 14(46), p. 213-233 (in Persian).
- Dasht bozorgi, A., Alijani, B., Jafarpour, Z.A. and Shakiba, A., 2014. simulation of extreme temperature indices of Khuzestan province based on RCP scenarios, geography and environmental risk, v. 16, p. 105-123 (in Persian).
- Dibike, Y.B. and Coulibaly, P., 2005. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of ownscaling methods and hydrologic models. Journal of Hydrology, v. 307(1-4), p. 145-163.
- Dookie, N., T.Chadee, X. and M. Clarke, R., 2018. Trends in extreme temperature and precipitation indices for the Caribbean small islands: Trinidad and Tobago, Theoretical and Applied Climatology, v. 136, p. 31-44.
- Etemadi, H., Sharifi Kia, M., Samadi, S.Z., Ismaili Sari, A. and Dane Kar, A., 2014. Simulating future climate changes in Jask region and its effect on mangrove forests, Geography and Development, v. 41, p. 87-104 (in Persian).
- Erfanian, M., Ansari, H., Alizadeh, A. and Banayan Aval, M., 2016. Estimation of frequency-continuity-return period relationships of extreme climate profiles in different parts of Razavi Khorasan Province, Geographical Research Quarterly, 32nd Year, v. 1(124), p. 37-50 (in Persian).
- Fatemi, M. and Narangi Fard, M., 2018. Investigating the relationship between altitude and temperature and precipitation profiles in Hamdid stations of Fars province. Scientific-Research Quarterly of Geographical Thought, Year 11, v. 22, p. 23-39 (in Persian).
- Fakhimi, P., Shirdeli, A. and Masoudi, M., 2014. water and climate change: investigation of monthly, seasonal and annual air temperature changes in Zanjan province, conference: Iran National Irrigation and Drainage Congress, Mashhad (in Persian).
- Falahi Khoshji, M. and Akbari, M., 2018. simulation of temperature changes in western Iran, 6th regional climate change conference (in Persian).
- Hejazizadeh, Z., Hosseini, S.M. and Karbalai Dorthi, A., 2014. simulation of climatic variables of Semnan province with scenarios of general atmospheric circulation model (Hadcm3), Geography and Environmental Hazards, v. 15, p. 1-24 (in Persian).
- Haite, E., 2018. Carbon taxes and greenhouse gas emissions trading systems: what have we learned? Climate Policy, v. 18(8), p. 955-966.
- Hu, Y., Maskey, Sh. and Uhlenbrook, S., 2012. Trends in temperature and rainfall extremes in the Yellow River source region, China, Climate Change, v. 110, p. 403-429.
- Jarvie, J., Sutarto, R., Syam, D. and Jeffery, P., 2015. Lessons for Africa from urban climate change resilience building in Indonesia, Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 13, p. 19-24.
- Jafarzadeh, A., Khashei, A. and Shahidi, A., 2016. evaluation of two statistical exponential microscale methods, LARS-WG and SDSM, in estimating changes in climatic parameters (case study: Birjand Plain), Water and Soil Conservation Research, v. 23(4), p. 309-322 (in Persian).
- Khademi, M., Fazl Oli, R. and Emadi, A., 2016. Investigating the capabilities of the artificial neural network model in simulating the rainfall-runoff process under climate change conditions (case study: Pashakola dam area of Babol), watershed management research paper, v. 16, p. 53-64 (in Persian).
- Kazemi Rad, L. and Mohammadi, H., 2014. evaluation of the appropriate general circulation model of the atmosphere for predicting climate changes in Gilan province, Geography and Environmental Hazards, v. 16, p. 55-73 (in Persian).
- Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A. and King, L., 2014. Trends in daily temperature and precipitation extremes over

- Georgia, 1971–2010, *Weather and Climate Extremes*, v. 4, p. 75-85.
- Kenward, A. and Raja, U., 2014. Blackout: Extreme weather, climate change and power outages, *Clim Cent*, p. 1-23.
- Kobuliev, M., Liu, T., Kobuliev, Z., Chen, X., Gulakhmadov. and Bao, A., 2021. Effect of future climate change on the water footprint of major crops in southern Tajikistan, *Regional Sustainability*, v 2(1), p. 60-72.
- Maduako, I.D., Yun, Z. and Patrick, B., 2016. Simulation and Prediction of Land Surface Temperature (LST) Dynamics within Ikom City in Nigeria Using Artificial Neural Network (ANN). *J Remote Sensing & GIS* 5:158. doi:10.4172/2469-4134.1000158
- Mahmood, R. and Babel, M.S., 2014. Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin, *Weather and Climate Extremes*, v. 5-6, p. 56-66.
- Malalgoda, C., Amaratunga, R.D.G. and Pathirage, C.P., 2010. Exploring disaster risk reduction in the built environment. *School of The Built Environment, University of Salford, uk*.
- Nik, V.M. and Moazami, A., 2021. Using collective intelligence to enhance demand flexibility and climate resilience in urban areas, *Applied Energy*, v. 281, doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116106.
- Oji, R., 2017. Comparison of single-station and multi-station temperature and precipitation microinversion (case study: southern shores of the Caspian Sea), *Journal of Earth and Space Physics*, v. 44(2), p. 410-397 (in Persian).
- Parhizkari, A. and Mozafari, M.M., 2015., Assessment of the effects of greenhouse gas emissions and climate change on the supply and demand of irrigation water and agricultural production in the watersheds of Qazvin province, *watershed management research journal*, 7th year, v. 14, p. 141-151 (in Persian).
- Panahi, H. and Ismail Darjani, N., 2019. investigating the effect of global warming and climate changes on economic growth (case study: Iranian provinces during the period 2010-2015). *Environmental Science and Technology*, v. 22(1), p. 80-82 (in Persian).
- Pal, J.S. and Eltahir, E.A.B., 2015. Future temperature in southwest Asia projected to exceed a threshold for human adaptability, *Nature Climate Change*, v. 6, p. 197-200.
- Powell, E.J. and Keim, B.D., 2015. Trends in Daily Temperature and Precipitation Extremes for the Southeastern United States: 1948–2012, *Journal of Climate*, v. 28(4), p. 1592-1612.
- Rashid, M.M., Beecham, S. and Chowdhury, R.K., 2015. Statistical downscaling of CMIP5 outputs for projecting future changes in rainfall in the Onkaparinga catchment, *Science of The Total Environment*, v. 530-531, p. 171-182.
- Razmi, R. and Sotoudeh, F., 2016. zoning the probability of droughts and droughts in the northwest of Iran, *Andisheh Geography*, 9th year, 16th issue, p. 68-95 (in Persian).
- Rezaei, M., Nahtani, M., Moghadamnia, A., Abkar, A. and Rezaei, M., 2016. Long-term forecasting of precipitation using statistical microscale exponential model, *Danesh Water and Soil Science*, v. 26(1/2), p. 115-127 (in Persian).
- Saddique, N., Khaliq, A. and Bernhofer, Ch., 2020. Trends in temperature and precipitation extremes in historical (1961–1990) and projected (2061–2090) periods in a data scarce mountain basin, northern Pakistan, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* v. 34, p. 1441-1455.
- Souvignet, M., Gaese, H., Ribbe, L., Kretschmer, N. and Oyarzún, R., 2010. Statistical downscaling of precipitation and temperature in north-central Chile: an assessment of possible climate change impacts in an arid Andean watershed, *Hydrological Sciences Journal– Journal des Sciences Hydrologiques*, v. 55, p. 41-57.
- Sobhani, B., Eslahi, M. and Babaian, A., 2014. The effectiveness of SDSM and LARS-WG statistical microscale models in simulating meteorological variables in the Urmia Lake catchment, *Natural Geography Research*, v. 47(4(4)), p. 499-516 (in Persian).
- Selajegheh, A., Rafii Sardoi, A., Moghadamnia, A., Malekian, A., Iraqinejad, Sh., Khalighi Sigarodi, Sh. and Salehpour Jam, A.P., 2016. investigating the effectiveness of LARS-WG and SDSM statistical micro-scale models in simulating temperature and precipitation, *Iran Water and Soil Research*, v. 48(2), p. 253-262 (in Persian).
- Sayari, N., Alizadeh, A., Banayan Aval, M., Farid Hasani, A. and Hesami Kermani, M.R., 2017. Comparison of two atmospheric general circulation models (HadCM3, CGCM2) in predicting climatic parameters and water requirements of plants under climate change, case study: Kashf Roud Basin, *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, v. 25(4), p. 912-925 (in Persian).

- Sheikh Rabiei, M.R., Peyrovan, H.R., Daneshkar Arasteh, P., Akbari, M. and Motamed Waziri, B., 1400. Comparison of the efficiency of SDSM and CCT models in climate change studies (case studies of Karganrood watershed), *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, v. 4(2), p. 128-146 (in Persian).
- Shidayan, M., Zia Tabar Ahmadi, M.Kh. and Fazl Ola, R., 2013. the effect of climate change on the net irrigation requirement and rice yield (case study: Tajan Plain), *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, v. 28(6), p. 1284-1297 (in Persian).
- Taghilo, M., Alijani, B. and Asakereh, H., 2018. the study of the efficiency of the regional climate model (RegCM) in simulating the temperature and precipitation of some selected cities of Iran (case study: 2010-2015 period), *Geographical Space Scientific Quarterly*, 19th year, v. 68, p. 95-110 (in Persian).
- Tai Semiromi, S., Moradi, H.R. and Khodaqoli, M., 2013. simulation and prediction of some climate variables by SDSM multiple linear model and atmospheric general circulation models (case study: Bar Neyshabur watershed), *Human and Environment Quarterly*, v. 28, p. 1-16 (in Persian).
- Vahidi, A.A. and Mataji, A., 2012. The amount of carbon sequestration distribution of oak trunks in relation to physiographic factors of natural forests in northern Iran. *Scientific-research quarterly of Iranian forest and poplar research*, v. 21(4), p. 716-717 (in Persian).
- Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M., 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, v. 17, (2), p. 145-157.
- Yazdan Panah, H.A. and Alizadeh, T., 1390. estimating the probability of occurrence of heat waves with different periods of continuity in Kerman province using the Markov chain, *Journal of Geographical Research*, v. 102(3) (in Persian).